



ПУГАЧ

Валерій Михайлович — член-кореспондент НАН України, завідувач відділу фізики високих енергій Інституту ядерних досліджень НАН України

ПРО СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ З ФІЗИКИ ВИСОКИХ ЕНЕРГІЙ У РАМКАХ УЧАСТІ В МІЖНАРОДНИХ КОЛАБОРАЦІЯХ LHCb (CERN, GENEVA) ТА CBM (GSI/FAIR, DARMSTADT)

Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 10 січня 2024 року

У доповіді розглянуто результати досліджень та перспективи розширення участі Інституту ядерних досліджень НАН України в експериментах міжнародних колаборацій LHCb і CBM в рамках модернізації їхніх трекових систем з використанням новітніх монолітних мікропксельних детекторів, виготовлених за CMOS-нанотехнологіями. Така модернізація уможливить проведення фізичних вимірювань за десятикратно підвищеної світності експериментів із відповідним зростанням їх статистичної значущості й точності просторово-часових характеристик реконструйованих фізичних подій. В Інституті створено також систему оцінки якості мікродетекторів.

Шановний Анатолію Глібовичу!

Шановні члени Президії!

Людство вже витратило кілька десятків мільярдів доларів і найближчими десятиліттями витратить ще більше на дослідження з фізики високих енергій. У своїй доповіді я спробую пояснити чому.

Інститут ядерних досліджень (ІЯД) НАН України є офіційним учасником міжнародних колаборацій LHCb (CERN, Женева, Швейцарія) і CBM (GSI/FAIR, Дармштадт, Німеччина). У складі колаборації LHCb налічується 1630 учасників з 98 наукових центрів 22 країн світу. До їх числа входять і науковці ІЯД НАН України (8–14 осіб у різні періоди, починаючи з 1995 р.), ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» (1–5 осіб у різні роки), а нещодавно за асоційованим членством приєдналися учасники спільних досліджень з Київського національного університету імені Тараса Шевченка (2 особи) та Інституту скінтіляційних матеріалів НАН України (2 особи).

Виконавши дві серії фізичних вимірювань RUN1 (2008–2012) та RUN2 (2014–2018) з оригінальною детекторною системою, колаборація здійснила першу модернізацію детектора і розпочала третю серію вимірювань RUN3 (2022–2026). За результатами цих робіт було опубліковано понад 700 статей за співавторства 1097 вчених, з яких 9 – співробітники ІЯД НАН України, 5 – науковці з ННЦ ХФТІ.

До складу колаборації CBM входять 315 учасників з 50 наукових організацій різних країн. Інститут ядерних досліджень НАН України в CBM у різні періоди, починаючи з 2008 р., представляють 5–10 вчених, Київський національний університет імені Тараса Шевченка – 4 науковці.

В експериментах LHCb та CBM з метою пошуку Нової фізики колаборації планують і здійснюють прецизійні вимірювання мультидиференційних поперечних перерізів генерації дивних (strange), чарівних (charm) та прекрасних (beauty) адронів. Зараз тривають грандіозні за задумом програми модернізації цих експериментів, які передбачають створення практично нових детекторних систем для роботи з 10–20-кратно збільшеними світностями за енергій до 14 TeV (експеримент HL-LHC). Реалізація такого завдання з перспективою на 10–20 років стала можливою, зокрема, завдяки прогресу в отриманні високоінтенсивних пучків прискорених ядер на Великому адронному колайдері* (БАК).

Коротко зупинюся на деяких важливих характеристиках експериментів, спрямованих на пошук нових горизонтів фізики високих енергій. Введення в дію в ЦЕРН Великого адронного колайдера (вартість проекту становила понад \$10 млрд) відкрило новий простір знань, недосяжних до того на інших експериментальних методиках. Чотири міжнародні колабора-

ції (ATLAS, CMS, ALICE, LHCb) розбудували свої гігантські детектори з амбітною метою – імітувати в зіткненнях пучків прискорених ядер умови Великого вибуху, який 15 млрд років тому ініціював нинішній Всесвіт! Дослідження на БАК – це крок у незнану раніше область енергій близько 10^{13} еВ. Цілком природно очікувати, що у кварк-глюонному світі з новою шкалою просторових (10^{-18} м) та часових (10^{-26} с) характеристик відбуваються зовсім нові фізичні явища.

Розглянемо ймовірність спостереження нового фізичного явища:

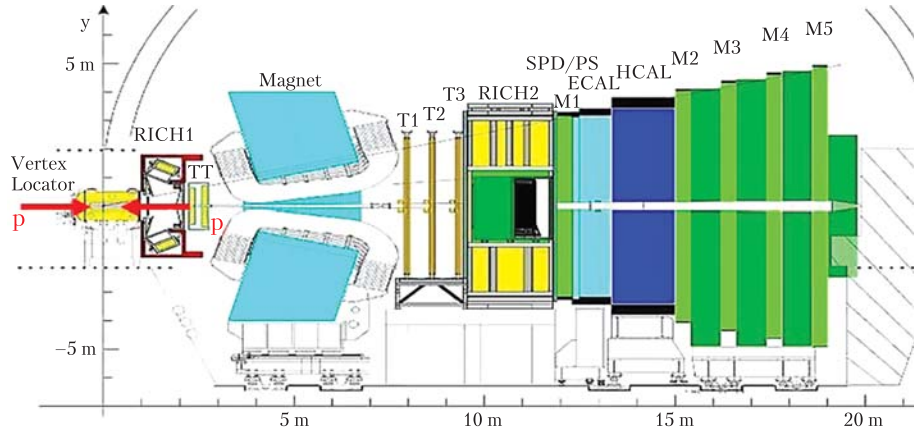
$$X_{\text{new}} = W_{\text{new}} \cdot \text{Lumi} \cdot \text{eff},$$

де X_{new} – кількість шуканих нових подій; W_{new} – імовірність нових подій (від Природи); Lumi – світність зіткнень ядерних пучків БАК, що визначається режимом роботи БАК; eff – ефективність детектора, яка залежить від розробників експерименту (геометричний аксептанс, радіаційна стійкість, грануляція, просторові та часові характеристики, петабайтні потоки даних тощо).

На рис. 1 схематично показано структуру детектора форвардного спектрометра LHCb, спорудженого в 2008 р. для пошуку та дослідження властивостей процесів за енергій зіткнень до 14 TeV. Це пірамідальна споруда (довжиною 20 м та висотою в основі близько 10 м) з вершиною в області точки зіткнень ядер двох зустрічних пучків БАК, які циркулюють у периметрі тунелю завдовжки 27 км, розташованого на глибині 100 м неподалік від центрального офісу ЦЕРН у прикордонній зоні Франції та Швейцарії. Функціонально детекторні підсистеми (Vertex Locator, RICH, UT, Magnet, T1-T3, ECAL, HCAL, M1-M5) призначені для реконструкції фізичних подій з використанням реконструйованих треків та вершин розпадів проміжних резонансних станів, продуктів ядерних зіткнень пучків БАК в області IP8-LHCb. Зазначимо, що маленька літера b в назві експерименту відображає його призначення для дослідження властивостей матерії-антиматерії через спостереження закономірностей утворення та розпаду B -мезонів, до складу яких входить b -кварк та/або анти-

* Слід відзначити ювелірну роботу операторів БАК, які спрямовують сфокусовані до мікронних розмірів інтенсивні пучки протонів з енергією $7 \cdot 10^{12}$ еВ в область точки їх зіткнення (IP8, LHCb), адже за один оберт по 27-кілометровому тунелю вони переносять енергію, еквівалентну вибуху кількох сотень кілограмів тринітролізуолу.

Рис. 1. Схема форвардного спектрометра ЛНСб



b -кварк. Вибір B -мезонів пояснюється тим, що період їхнього напіврозпаду ($\sim 5 \cdot 10^{-12}$ с) на багато порядків перевищує величини часу їхнього утворення (10^{-23} с) у зіткненнях ядер. Це робить їх ідеальними зразками для дослідження еволюції матерія-антиматерія.

Нижче наведено приклади деяких результатів ЛНСб, отриманих за участі ІЯД НАН України. Загальновідома Стандартна модель (СМ) констатує: в момент Великого вибуху, який прийнято вважати початком утворення Всесвіту, матерія і антиматерія існували в рівній кількості. Проте всі сучасні дослідження показують наявність лише матеріального світу. *Що ж сталося з антиматерією?* Пошук відповіді на це питання — один із головних напрямів досліджень в експерименті ЛНСб.

Інститут ядерних досліджень НАН України, зважаючи на його успішну участь (перша і єдина у світі 8-мішенна система) в експерименті HERA-B (DESY, Гамбург), також пов'язаному з B -фізикою, в 1995 р. увійшов до складу ініціативної групи із заснування колаборації ЛНСб (одна з найбільших груп у колаборації того часу, яка налічувала 8 осіб з ІЯД НАН України). Конструктивним внеском ІЯД НАН України стала участь у створенні внутрішнього кремнієвого трека ЛНСб (перші прототипи мікростріпових сенсорів було розроблено в Україні!). Для запобігання радіаційному пошкодженню високовартісних кремнієвих сенсорів було створено і встановлено у внутрішньому трекарі «прозору», легкомасову,

радіаційно стійку систему моніторингу умов і безпеки експерименту, створену на основі оригінальної технології металевих фольгових детекторів, розробленої науковцями ІЯД НАН України.

Завдяки ексклюзивно високим характеристикам створеного детектора колаборація ЛНСб отримала низку фундаментальних результатів світового рівня у фізичних вимірюваннях (наразі триває їх третя серія RUN3 (2022–2026)), представлених у сотнях статей у високорейтингових журналах. Зокрема, з найвищою у світі точністю досліджено закономірності збудження та розпаду прекрасних (beauty) B -мезонів. Для усіх п'яти їх конфігурацій (B_0 , B_d , B_u , B_s , B_c) виміряно частоти їхніх осциляцій (B -анти- B), які узгоджуються з розрахунками в рамках СМ. Уперше спостережені порушення CP -парності в розпадах чарівних (charm) D -мезонів також пояснюються з позицій сучасної СМ, залишаючи таємницю зникнення антиматерії для подальших досліджень, адже для її розуміння СМ повинна була б оперувати параметрами порушення CP -парності на два порядки більшими, ніж спостережено! Можливий шлях до істини полягає в пошуку нових фізичних процесів, що спричинюють асиметрію еволюції матерія-антиматерія. Ці процеси можуть проявити себе в даних з набагато вищою точністю та/або за значно вищих енергій зіткнень (у проєкті ЦЕРН FCC на 100 TeV).

Серед інших досягнень ЛНСб, у роботі над якими брав участь ІЯД НАН України, — від-

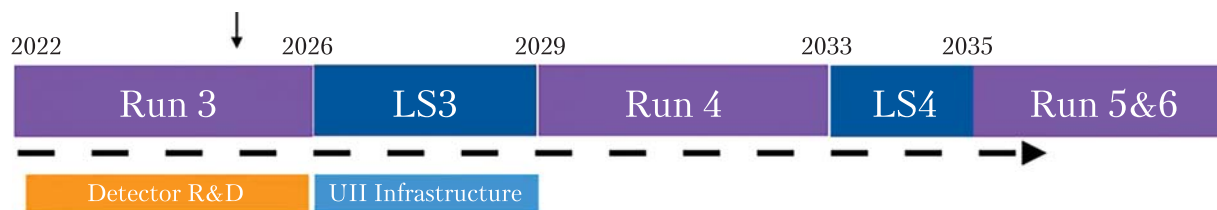


Рис. 2. Розклад фізичних вимірювань та профілактичних зупинок на ВАК на період 2022–2040 рр.

криття пента-кварків та підтвердження існування тетра-кварків, перші у світі спостереження понад 60 нових резонансних станів адронів, рідкісні розпади B - та D -мезонів до двомюонного кінцевого стану, підтвердження універсальності лептонного аромату, унікальні дані щодо генерації адронів у зіткненнях важких ядер у колайдерному режимі та режимі фіксованої мішені тощо.

На сьогодні очевидно, що програма досліджень з фізики обмежена детектором, а не самим ВАК, і це є аргументом на користь модернізації детектора, яка вже триває (UPGRADE II) і спрямована на створення нового детектора для четвертої (RUN4) та наступних серій вимірювань — RUN5, RUN6 (2035–2045). Часовий розклад запланованих фізичних вимірювань на ВАК (RUN3, RUN4, RUN5, RUN6) та профілактичних зупинок (LS3, LS4) наведено на рис. 2.

LHCb є єдиною у світі експериментальною методикою загального призначення для вивчення фізики ароматів з часовою детальністю в кілька десятків фемтосекунд. Вимірюючи дані за миттєвої світності зіткнень $1,5 \cdot 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{с}^{-1}$, колаборація накопичить дані з інтегральною світністю понад 300 фб^{-1} , яка в 40 разів перевищить інтегральну світність наявних на сьогодні даних.

Особливий внесок ІЯД НАН України — це розроблення режиму фіксованої металеві мішені, в рамках якого, зокрема, розглянуто першу у світі пропозицію здійснення потрійних зіткнень ядер. Цю ідею з натхненним ентузіазмом розвивав вчений з Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України Кирило Бугаєв. На жаль, COVID-19 забрав життя цього талановитого науковця.

Вагомі результати отримано в дослідженнях так званого фактора ядерної модифікації диференційних поперечних перерізів генерації K_0^S та Λ -, анти- Λ -адронів у зіткненнях протонів з ядрами свинцю за енергії 5,02 TeV. Спостережені нетривіальні особливості варіації цього фактора залежно від поперечного імпульсу — пригнічення за малих імпульсів, перехід до підсилення з характерним максимумом та наближення до одиничного значення (модифікація зникає) — ще очікують на інтерпретацію сучасними теоретичними моделями. Ці роботи набувають нового значення в пошуку сигнатур кварк-глюонної плазми в зіткненнях ядер (колайдерний режим та режим фіксованої мішені) в рамках грантового проекту MPG (2023–2025) програми EIRENE.

Вагомим матеріальним внеском ІЯД НАН України в завершено в 2021 р. першу чергу модернізації LHCb (Upgrade I) стало введення в дію системи моніторингу області світності та фону експерименту RMS-R3 (рис. 3).

Система RMS-R3, побудована в ІЯД НАН України за технологією металевих фольгових детекторів, продемонструвала у 2022–2023 рр. надзвичайно високі функціональні характеристики. На рис. 3а наведено схему розташування металевих сенсорних модулів системи RMS-R3 навколо іонопроводу ВАК у вертикальній площині на відстані 2,5 м від номінальної точки зіткнень у напрямку, зворотному до розташування детектора, представленого на рис. 1; на рис. 3б — двовимірне відображення області взаємодій ядер (IP8-LHCb), розраховане методом асиметрії відгуку вертикальних (TOP-BOTTOM, вісь Y) та горизонтальних (LEFT-RIGHT, вісь X) сенсорів. Дві чітко виражені локалізації подій відповідають двом

умовам експерименту: зіткнення протонів з протонами (локус унизу) та зіткнення протонів з ядрами фіксованої мішені (локус вгорі). Дані RMS-R3 в онлайн-режимі відображаються на пульті керування експерименту LHCb і для вахтової зміни фізиків слугують основою для відновлення прийнятних умов зіткнень пучків ядер ВАК в області взаємодії IP8 LHCb після їх нової інжекції та прискорення (ця процедура повторюється кожні 10–12 годин протягом 6-місячної серії фізичних вимірювань).

Особливості функціональних характеристик RMS-R3 покладено в основу дизайну нової системи моніторингу області світності та фону експерименту RMS-R4,5 в рамках другої черги модернізації LHCb (UPGRADE II), спрямованої на здійснення фізичних вимірювань в епоху надвисокої світності ВАК (HI-LHC). Додатково у співпраці з науковцями компанії LTU (м. Харків) розгортаються роботи з розбудови внутрішнього трекера (Mighty Tracker) на основі монолітних активних піксельних сенсорів MightyPix.

Друга частина доповіді стосується стану і перспектив майбутнього експерименту CBM (стиснена баріонна матерія), який зараз розгортають у GSI/FAIR (Дармштадт, Німеччина). В експерименті CBM за участю ІЯД НАН України буде досліджено фазову діаграму квантової хромодинаміки в області високих баріонних густин (рис. 4).

Високі температури при порівняно невисокій густині реалізуються в експериментах у ЦЕРН (LHC, SPS) та в Брукгейвській національній лабораторії США (RHIC). Енергії зіткнень (2–9 GeB/нуклон) ядер в експерименті CBM дадуть можливість дослідити діаграму в області низьких температур з фазовим переходом від густин звичайних ядер до 3–4-кратно більших густин (нижня частина діаграми).

Очікується, що екстремальних умов у зіткненнях пучка важких іонів з ядрами фіксованої мішені буде досягнуто на майбутньому прискорювачі SIS100 за енергій 2–9 GeB/нуклон. Цей прискорювач входить до складу прискорювачально-накопичувального комплексу FAIR/GSI, який будують у Дармштадті (вартість проєкту становить 1,2 млрд євро).

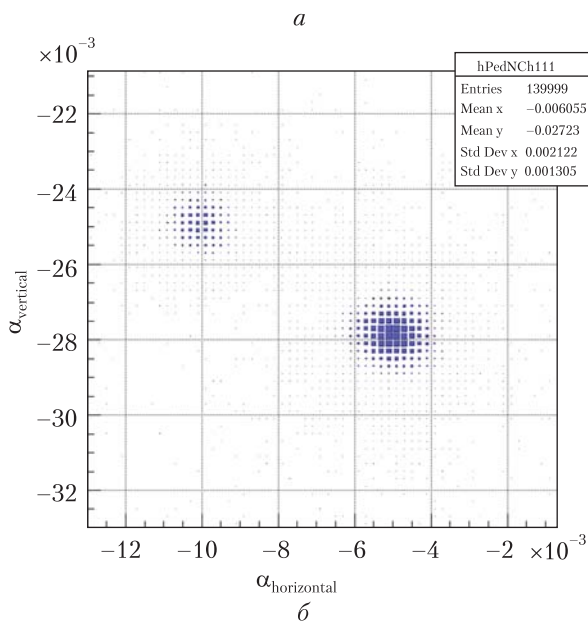
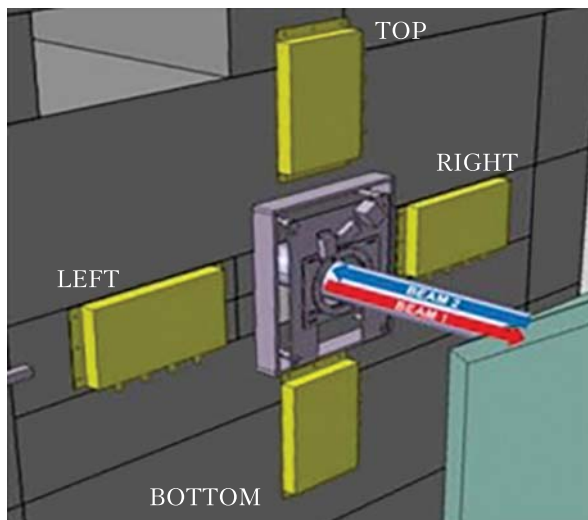


Рис. 3. Моніторингова система експерименту LHCb RMS-R3: а – схема розташування сенсорних модулів навколо іонопроводу ВАК; б – двовимірний розподіл асиметрії відгуків сенсорів вертикального (вісь Y) та горизонтального (вісь X) розташування

ІЯД НАН України є членом колаборації CBM з 2008 р. і бере участь у створенні кремнієвої трекової системи (КТС) експерименту CBM. Як головна детекторна система експерименту, КТС призначена для реконструкції треків адронів, продуктів ядерних взаємодій

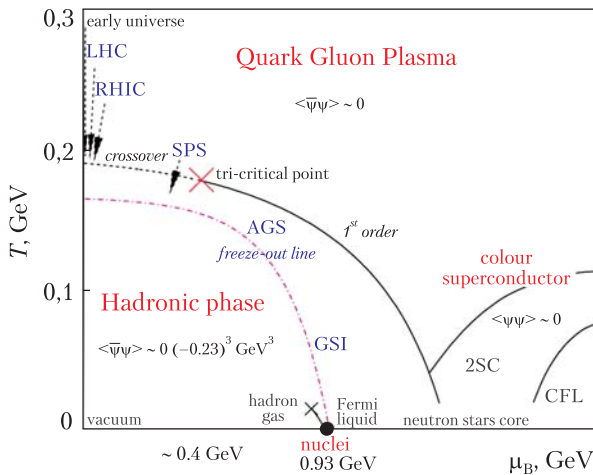


Рис. 4. Фазова діаграма квантової хромодинаміки: по осі Y — температура; по осі X — хімічний баріонний потенціал (густина речовини). Суцільна лінія розмежовує адронну фазу і гіпотетичну фазу кварк-глюонної плазми

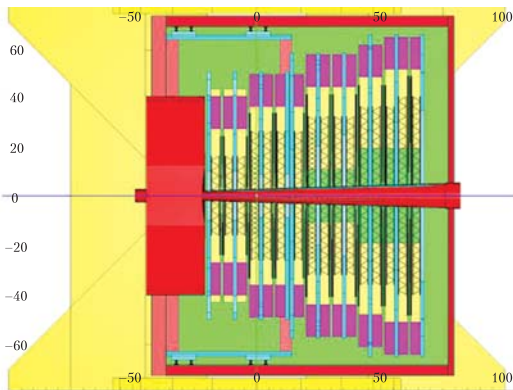


Рис. 5. Схематичне зображення 8 станцій кремнієвої трекової системи (КТС), розташованих у геометричному аксептансі за полярним кутом від $2,5$ до 25° всередині дипольного магніту. Цей варіант модернізації КТС передбачає комбінацію детекторів MAPS та попередньо встановлених двосторонніх мікростріпових кремнієвих детекторів. Менша кількість мікросхем MightyPix втричі знижує енергоспоживання (2,5 кВт). Відповідно, витрати на MAPS знижуються з 2,5 до 0,8 млн євро

пучка важких ядер, прискорених на SIS100, з ядрами фіксованої мішені. У 2023 р. на основі результатів тестів двох зібраних станцій КТС підтверджено ефективність розробленої концепції монтажу фінальних модулів та всіх 8

станцій КТС всередині дипольного магніту з напруженістю магнітного поля 2 Тесла. Українські аспіранти — співробітники відділу фізики високих енергій ІЯД НАН України на матеріалах розробки КТС захистили 5 дисертацій докторів філософії.

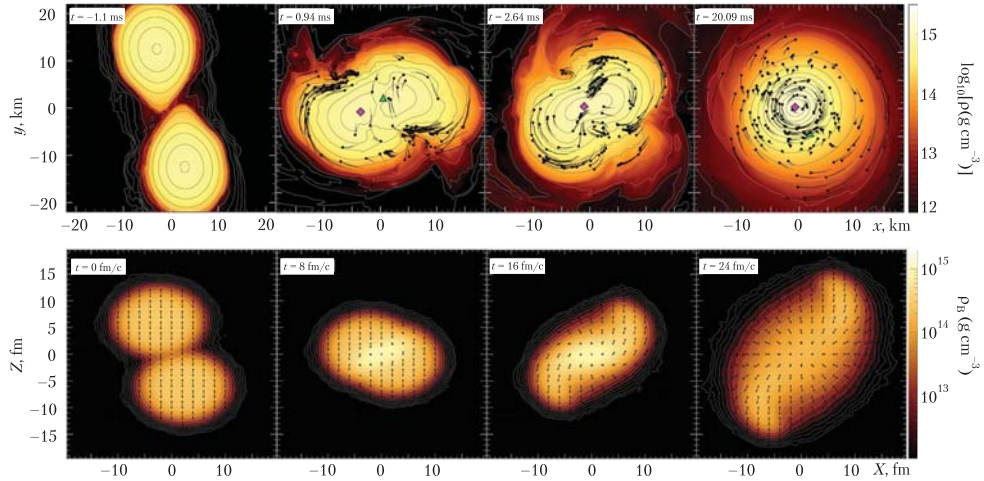
Хоча першу серію фізичних вимірювань СВМ на SIS100 заплановано на 2028–2032 рр., вже розпочалося розроблення проекту модернізації СВМ на 10–15-річну перспективу. Зокрема, ІЯД НАН України ініціативно подав на розгляд колаборації пропозицію (ЕОІ) модернізації КТС. Її пропонується здійснити на основі новітніх радіаційно стійких монолітних піксельних сенсорів (28-нанометрова технологія Tower Jazz CMOS) для підвищення світності експерименту на порядок величини і, відповідно, поліпшення статистичної точності та просторово-часових характеристик реконструйованих фізичних подій. Монолітні активні піксельні сенсори (MAPS) мають високу радіаційну стійкість (до кількох МГрей), їх можна виготовити товщиною близько 30–50 мкм з 10-мікронною грануляцією, і вони забезпечують прецизійну часову мітку зареєстрованої події (до 10 пікосекунд). Стандартна CMOS-технологія виготовлення забезпечує в 2–3 рази меншу собівартість порівняно з іншими сенсорами.

У пропонованому проекті розглянуто три варіанти модернізації КТС. Перший варіант — повна заміна двосторонніх мікростріпових кремнієвих сенсорів (3,5 млн євро).

Другий варіант пропонованої модернізації КТС схематично зображено на рис. 5. Він ґрунтується на комбінації детекторів MightyPix та двосторонніх мікростріпових кремнієвих детекторів. MightyPix передбачається встановлювати в перших трьох станціях (де високі радіаційні навантаження), інші 5 станцій оснащувати детекторами MightyPix лише в області високих радіаційних навантажень біля осі пучка, а на периферійній частині геометричного аксептансу залишити двосторонні мікростріпові кремнієві детектори.

Третій варіант — це комбінація MAPS MightyPix в області високих радіаційних наванта-

Рис. 6. Модельні розрахунки еволюції процесів зі стисненням матерії при злитті нейтронних зірок (вгорі) та в зіткненнях важких ядер (внизу)



жень зі сцинтиляційними волокнами (SciFi) на периферійній частині геометричного акцептансу (SciFi зчитуються спеціальною технікою на основі кремнієвих фотопомножувачів).

Слід зазначити, що організацію експерименту CBM розглядають як створення наземної лабораторії з дослідження властивостей нейтронних зірок, зокрема процесів їх злиття та переходу до об'єктів з надвисокою густиною в їхній корі (рис. 6).

Детекторні системи та методи аналізу отриманих з їх використанням даних з фізики високих енергій можна ефективно застосовувати й в інших галузях науки. Зокрема, нижче наведено деякі приклади проведених науковцями ІЯД НАН України у співпраці з іншими науковими установами успішних випробувань мікродетекторів (більшість з них — уперше у світі). Так, в Інституті прикладної фізики НАН України та Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України отримано важливі результати з впровадження в традиційні методики досліджень так званої електронної фокальної площини на основі мікропіксельних детекторів Тімеріх (ЦЕРН) та металевих мікростріпових детекторів (ІЯД НАН України). Їх застосування в лазерній мас-спектрометрії та рентгенівській дифрактометрії швидкоплинних процесів підвищило точність та скоротило час вимірювань у десятки разів. Не менш значущі результати отримано при застосуванні

мікродетекторів як профілометрів мікропучків заряджених частинок та рентгенівського випромінювання. В Хайделберзькому іонному терапевтичному центрі (НІТ, Хайделберг, ФРН) та на Європейському синхротроні (ESRF, Гренобль) вперше було виміряно розподіли інтенсивності мікропучків у режимі реального часу в дослідженнях, пов'язаних з розвитком нових принципів просторово фракціонованої радіаційної терапії. Надтонкі (1 мкм!) мікростріпові металеві детектори успішно застосовано як «прозорі» профілометри пучків заряджених частинок на тандем-генераторах в Інституті ядерної фізики Макса Планка (м. Хайделберг, ФРН) та Інституті ядерних досліджень НАН України, а також у ЦЕРН на тестовому пучку з енергією 2 GeV.

Тепер коротко зупинюся на організації робіт з модернізації в колабораціях LHCb та CBM.

LHCb (ЦЕРН): ІЯД НАН України — RMS-R4,5; MightyTracker, тести MightyPix (спільно з LTU). Кожні пів року керівництво колаборації LHCb звітує перед Радою з наглядом за використанням ресурсів на модернізацію (RRB LHC), зокрема й щодо фінансових внесків національних агентств. У 2022–2023 рр. я був учасником цих засідань як національний контактний представник України і за погодженням з президентом НАН України А.Г. Загороднім підтверджував зацікавленість України в тому, щоб брати участь у роботах з модерніза-

ції, а також у подальших фізичних дослідженнях на ВАК.

На знак солідарності з Україною в її боротьбі проти російської агресії за поданням колаборації LHCb було прийнято рішення про списання боргу України (360 тис. швейцарських франків), накопиченого за минулі роки.

CBM (GSI/FAIR): ІЯД НАН України — кремнієва трекова система. Щотижня відбуваються робочі наради, на яких розглядають поточний стан виконання робіт з монтажу та випробування детекторних модулів і станцій КТС і в яких беруть участь співробітники Інституту.

Отже, в експерименті LHCb (ЦЕРН) отримано низку фізичних результатів світового рівня, опублікованих за співавторства 7 науковців (з них 6 молодих вчених) ІЯД НАН України. У новій серії фізичних вимірювань (2022–2025) надійно функціонує моніторингова система RMS-R3, яка контролює умови та безпеку експерименту. Дані RMS-R3 є основою для дизайну нових моніторингових систем RMS-R4,5 для надвисоких світностей експерименту в епоху HL-LHC (2035–2040). Розширюється участь Інституту в роботах з модернізації *MightyTracker*.

Фізичні цілі експериментів LHCb та CBM потребують створення нових прецизійних детекторних систем для вимірювань за високих частот ядерних взаємодій. ІЯД НАН України бере кон-

структивну участь у виконанні програм модернізації в рамках колаборацій LHCb та CBM.

Розроблено проєкт (ЕОІ) модернізації кремнієвої трекової системи експерименту CBM на основі MAPS *MightyPix* для фізичних вимірювань за десятикратно збільшеною частотою ядерних взаємодій.

Програми модернізації LHCb і CBM відкривають нові горизонти фізики високих енергій з отриманням статистично значущих даних, виміряних з високою часовою та просторовою точністю.

Виконання зазначених у доповіді досліджень відбувалося й продовжується за бюджетною темою ІЯД НАН України «Адронізація кваркових станів в ядро-ядерних зіткненнях на Великому адронному колайдері при енергіях до 14 TeV» (2022–2026); в рамках цільових програм наукових досліджень НАН України «Фундаментальні дослідження з фізики високих енергій та ядерної фізики (міжнародне співробітництво)» та «Участь у новітніх міжнародних проєктах з фізики високих енергій та ядерної фізики», а також грантів програм Європейського Союзу з наукових досліджень та інновацій EIRENE (MPG) і EURIZON (2022–2024).

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик

Valery M. Pugatch

Institute for Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5204-9821>

ON THE STATE AND PROSPECTS OF RESEARCH IN HIGH-ENERGY PHYSICS WITHIN THE FRAMEWORK OF PARTICIPATION IN INTERNATIONAL COLLABORATIONS LHCb (CERN, GENEVA) AND CBM (GSI/FAIR, DARMSTADT)

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, January 10, 2024

The report examines the results of research and the prospects for expanding the participation of the Institute for Nuclear Research of the NAS of Ukraine in the experiments of international collaborations LHCb and CBM within the framework of the modernization of their track systems using the novel monolithic micropixel detectors manufactured using CMOS nanotechnology. Such modernization will allow for conducting physical measurements at a tenfold increased luminosity of experiments with a corresponding increase in their statistical significance and accuracy of spatio-temporal characteristics of reconstructed physical events. The Institute has also created a quality assessment system for microdetectors.

Cite this article: Pugatch V.M. On the state and prospects of research in high-energy physics within the framework of participation in international collaborations LHCb (CERN, Geneva) and CBM (GSI/FAIR, Darmstadt). *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2024. (3): 69–76. <https://doi.org/10.15407/visn2024.03.069>